Aus dem Institut für Gerichtliche Medizin
der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. J. Mallach

Quantitative Untersuchungen von wasserlöslichen Proteinen des menschlichen Skelettmuskels im Hinblick auf die Eingrenzung des Todeszeitpunktes

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Theoretische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt
von
Uli Oskar Artur Römer
aus
Bronnweiler

1980

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548921_0023

Aus dem Institut für Gerichtliche Medizin
der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. J. Mallach

Quantitative Untersuchungen von wasserlöslichen Proteinen des menschlichen Skelettmuskels im Hinblick auf die Eingrenzung des Todeszeitpunktes

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Theoretische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt
von

Uli Oskar Artur Römer
aus
Bronnweiler

1980

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. med. H. Haselmann

Berichterstatter: Priv.Doz.Dr.med.H.-J.Mittmeyer
(Professor Dr. med. H.J. Mallach)

FOTODRUCK H. RESCH · Georgstr. 50 · 7402 Kirchentellinsfurt

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1.	Einleitung	5
1.1	Allgemeine Vorbemerkungen über postmortale Veränderungen des Muskelgewebes	5
1.2	Eiweißanalytische Gewebeuntersuchungen unter thanatologischen Gesichtspunkten	6
1.3	Fragestellung der vorliegenden Untersuchung	8
2.	Material und Methodik	9
2.1	Skizzierung des Fallmaterials	9
2.2	Experimentelle Bedingungen und elektrophoretischer Untersuchungsgang	9
2.3	Densitometrische Erfassung der quantitativen Verhältnisse in den Proteinogrammen	11
2.3.1	Kriterien bei der Auswertung	12
3.	Ergebnisse	13
3.1	Grundlegende densitometrische Auswertung des Fallmaterials	13
3.2	Milieuabhängige quantitative Veränderungen in den Proteinogrammen	18
3.2.1	Einfluß der Luftfeuchtigkeit	18
3.2.1.1	Bei niedriger Temperatur	18
3.2.1.2	Bei relativ hoher Temperatur	20
3.2.2	Einfluß der Temperatur	22

3.2.2.1	Bei geringer Luftfeuchtigkeit	22
3.2.2.2	Bei hoher Luftfeuchtigkeit	24
3.3	Zeitabhängige quantitative Veränderungen in den Proteinogrammen	26
3.3.1	Bei niedriger Temperatur	26
3.3.2	Bei relativ hoher Temperatur	28
3.3.3	Zeitabhängige quantitative Veränderungen der einzelnen Fraktionen	30
3.3.3.1	Fraktion 1 (P_1)	30
3.3.3.2	Fraktion 2 (P_2)	32
3.3.3.3	Fraktion 3 (P_3)	32
3.3.3.4	Fraktion 4 (P_4)	35
3.3.3.5	Fraktion 5 (P_5)	37
3.3.3.6	Fraktion 6 (P_6)	39
3.3.3.7	Fraktion 7 (P_7)	39
3.3.3.8	Fraktion 8 (P_8)	42
3.3.3.9	Fraktion 9 (P_9)	44
3.3.3.10	Fraktion 10 (P_{10})	44
4.	Diskussion	48
5.	Zusammenfassung	53
6.	Literatur	54

1. Einleitung

1.1 Allgemeine Vorbemerkungen über postmortale Veränderungen des Muskelgewebes

Bei der Betrachtung postmortaler Veränderungen an der Muskulatur steht in der forensischen Medizin die Totenstarre im Vordergrund. Dabei konnten MALLACH und Mitarbeiter (1965) elektronenmikroskopisch eine deutliche Abgrenzung der einzelnen Bänder feststellen. Im Z-Streifen waren Filamentverdickungen zu erkennen. Nach Lösung der Totenstarre wurde die Struktur der Muskelfasern homogen, so daß sich die I-, A-, und H-Bänder nicht mehr gegeneinander differenzieren ließen und der Z-Streifen unscharf begrenzt war. Bei der Untersuchung mechanischer Eigenschaften lebensfrischer und totenstarrer menschlicher Skelettmuskelfasern und ganzer Muskeln fand ZINK (1972 a), daß der Rigor mortis seine Ursache in einer Veränderung der Muskelfaser hat und nicht an den Gewebeverband gebunden ist. Außerdem stellte ZINK (1972 b) fest, daß während der Erstarrung die Steifheit des Muskels kontinuierlich zu und die Plastizität abnimmt. Eine Reihe von Arbeiten beschäftigten sich mit dem Mechanismus und Verlauf der Totenstarre im Hinblick auf die Todeszeit (MALLACH, 1964, MITTMEYER, 1971, FORSTER, ROPOHL, PROKOP und RIEMER, 1974, FORSTER, ROPOHL und RAULE, 1977).

KRAUSE und ZETT (1973) unterteilten den Verlauf des Rigor mortis in die drei Phasen: experimentell reversible postmortale Muskelkontraktur, irreversible postmortale Muskelstarre und Lösung der Totenstarre infolge Entkoppelung der Myofilamente durch Fibrillenrupturen und Strukturauflösung. BEIER und Mitarbeiter (1976) kamen bei Totenstarremessungen mit der Federwaage an menschlichen Skelettmuskeln in situ zu dem Ergebnis, daß bei Frauen die Kraftmomente deutlich niedriger liegen als die entsprechenden Meßwerte bei

Männern. Selbst wenn die gemessenen Kraftmomente auf die Durchmesser, Umfänge oder Querschnitte der betreffenden Gliedmaßen bezogen wurden, konnten dieselben Feststellungen getroffen werden. Zwischen den Kraftmomenten und der Liegezeit war ein straffer funktioneller Zusammenhang nicht erkennbar. Es ließen sich jedoch einhüllende Kurven konstruieren, mit denen sich Grenzbereiche aufzeigen ließen.

MALLACH und LAUDAHN (1965) fanden bei Untersuchungen über die Aktivitäten von 16 Skelettmuskelenzymen an 65 menschlichen Leichen, daß zum einen mit zunehmendem Leichenalter die Menge der extrahierbaren löslichen Proteine kontinuierlich abnahm. Einige Enzyme zeigten jedoch noch vier Tage nach dem Tode normale Aktivitäten. Eine Korrelation mit dem Leichenalter war nicht zu erkennen.

1.2 Eiweißanalytische Gewebeuntersuchungen unter thanatologischen Gesichtspunkten

Der postmortale Eiweißzerfall wird durch zahlreiche Faktoren beeinflußt, so von der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit und Bakterienbesiedelung (SCHMIDT, FORSTER und SCHULZ, 1961). Untersuchungen an tierischem Gewebe führten zu dem Ergebnis, daß es zu einer zeitabhängigen Verringerung des Gesamteiweißes kommt, die nach LERKE, FARBER und ADAMS (1967) durch Bakterienbesiedelung beschleunigt werden kann. Demgegenüber konnte in Faulversuchen gezeigt werden, daß nach Aufimpfen von Pseudomonasstämmen ein Anstieg der Gesamteiweißkonzentration eintritt, was nach JAY (1967) mit der Neubildung von Bakterienproteinen in Zusammenhang gebracht wurde.

KOLÁŘ und Mitarbeiter (1969/1970) untersuchten erstmals Proteine aus menschlichen Muskelproben, indem sie Muskelextrakte elektrophoretisch auftrennten und dabei 15

Fraktionen feststellten, die immunologisch zugeordnet wurden. Fünf Fraktionen fand SCHWEND (1977) bei elektrophoretischen Auftrennungen von Skelettmuskelextrakten auf Celluloseacetatfolie. Über Monate kam es zu einer Abnahme des Gesamteiweißgehaltes, wobei gleichzeitig eine relative Zunahme schnell wandernder Proteine zu verzeichnen war. Systematische Untersuchungen zur Eingrenzung des Todeszeitpunktes anhand elektrophoretischer Auftrennung von Muskeleiweiß wurden von MITTMEYER (1978, 1979, 1980) durchgeführt. Bei der Elektrophorese von wasserlöslichen Proteinen konnten zeitabhängige Veränderungen festgestellt werden, die jedoch von den äußeren Bedingungen abhängig waren. Unter anderem traten neue Fraktionen in den Proteinogrammen auf. Die Arbeiten von BONTE (1975) sowie BONTE und Mitarbeitern (1975 bis 1977) hatten zu grundsätzlichen Feststellungen über den postmortalen Proteinkatabolismus geführt, die sich jedoch nicht zwanglos auf die menschliche Leiche übertragen ließen, da es sich im wesentlichen um tierexperimentelle Untersuchungen handelte.

Die myofibrillären Komponenten des Muskelgewebes waren Gegenstand experimenteller Arbeiten von VÁNDOR und JÓZSA (1978), VÁNDOR und VARGA (1979) sowie MITTMEYER und ERLINGER (1979), die den Abbau post mortem untersuchten. Dabei wurden mit Hilfe der Polyacrylamidelektrophorese proteolytische Veränderungen festgestellt, die im Einzelfall als Parameter bei der Eingrenzung des postmortalen Zeitintervalls herangezogen werden können.

1.3 Fragestellung der vorliegenden Untersuchung

Das postmortale Verhalten der wasserlöslichen Proteine der menschlichen Skelettmuskulatur ist bislang noch nicht quantitativ untersucht worden. Die vorliegende Arbeit befaßt sich deshalb mit der Frage, ob die post mortem ablaufende Eiweißzersetzung am Leichenmuskel geeignet ist, über eine quantitative Auswertung näheren Aufschluß über den Todeszeitpunkt zu geben. Dabei wird vorausgesetzt, daß die einzelnen Eiweißkomponenten zunächst in einem bestimmten Mengenverhältnis zueinander vorhanden sind. Über eine quantitative Erfassung der Abbauvorgänge soll deshalb untersucht werden, ob proteolytische Parameter vorliegen, die vom postmortalen Intervall abhängig sind.

2. Material und Methodik

2.1 Skizzierung des Fallmaterials

Die zur Untersuchung herangezogenen Muskelproben wurden bei 12 männlichen und fünf weiblichen Leichen entnommen, die aus dem laufenden Sektionsgut stammten. Durchweg war bei diesen 17 Fällen der Tod plötzlich, das heißt, ohne vorangegangenes längeres Krankenlager eingetreten. Zudem wurde darauf geachtet, daß keine Myopathien vorlagen. Die Zeitspanne zwischen Tod einerseits, Entnahme und Einfrieren andererseits wurde möglichst klein gehalten. So betrug der Mittelwert für die berücksichtigten Fälle 38 Stunden post mortem (h.p.m.) bei einer Standardabweichung von 18 Stunden.

2.2 Experimentelle Bedingungen und elektrophoretischer Untersuchungsgang

Es wurde aus der Wadenmuskulatur (M.triceps surae) eine Probe entnommen und in Plastikbeuteln asserviert. Die Proben wurden nicht unter sterilen Bedingungen entnommen. Bis zur weiteren Verarbeitung lagerten die Muskelportionen in einer Kühlzelle bei -20°C. Spätestens nach zwei Tagen erfolgte die Portionierung der ursprünglichen Probe in 21 etwa gleiche Stücke von Walnußgröße. Je vier Teilproben kamen zusammen in ein Plastikgefäß mit einem Fassungsvermögen von 300 ml und wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten untersucht. Im einzelnen wurden folgende Versuchsbedingungen gewählt:

Ansätze a: trockenes Milieu / Lagerung bei 5°C

Ansätze b: feuchtes Milieu / Lagerung bei 5°C

Ansätze c: trockenes Milieu / Lagerung bei 30°C

Ansätze d: feuchtes Milieu / Lagerung bei 30°C

Eine Teilprobe wurde sofort nach der Portionierung aufgearbeitet, um einen Ausgangswert zum Vergleich für die späteren Untersuchungen zu haben. Das Gewebe wurde in Anlehnung an das methodische Vorgehen von SCHWEND (1977) von Blut weitestgehend gereinigt.Die zu verarbeitenden Proben wurden danach gefriergetrocknet und in einem Mahlwerk zerkleinert. Das so erhaltene pulverisierte Gewebe wurde nach Zusatz von destilliertem Wasser (ca. 5 ml auf 1 g lyophilisiertes Gewebe) entsprechend der oben angeführten Methode weiterverarbeitet. Dabei war die benötigte Zeit mit zwischen drei und vier Stunden für die Konzentrierung der Eluate kürzer als bei der Methode nach SCHWEND (1977).

Eine weitere Modifikation bestand darin, daß für die vorliegenden Untersuchungen neu entwickelte Celluloseacetatfolien (Sartorius SM 12 200) verwendet wurden, die eine bessere Auftrennung der Proteine bei Wegfall des sonst üblichen Transparentbades garantierten. Eine vollständige Transparenz war bei der verwendeten Celluloseacetatfolie (CAF) dadurch zu erreichen, daß sie im Trockenschrank bei 100°C etwa 10 Minuten getrocknet wurde, nachdem sie vorher sorgfältig auf eine Glasplatte aufgewalzt worden war. Jeder Lufteinschluß zwischen Glasplatte und Folie war zu vermeiden, da dies zwangsläufig zu einer unvollständig ausgebildeten Transparenz der Folie führte.

2.3 Densitometrische Erfassung der quantitativen Verhältnisse in den Proteinogrammen

Die Erfassung der Elektropherogramme im Hinblick auf die quantitativen Beziehungen der einzelnen Proteinfraktionen wurde mit dem Mikrozone Densitometer Modell R-110 in Verbindung mit dem Mikrozone-Digital-Integrator Modell R-111 der Firma Beckman-Instruments GmbH/München durchgeführt. Um eine optimale Aufzeichnung und Auswertung zu erzielen, wurden verschiedene Einstellungen des verwendeten Densitometers in Vorversuchen erprobt und damit die Möglichkeit ermittelt, die eine exakte Wiedergabe der prozentualen Anteile einer Fraktion, bezogen auf die Gesamtmenge der elektrophoretisch aufgetrennten Proteine, erlaubte. So wurde das Interferenzfilter mit einer Wellenlänge von 520 nm gewählt. Als Lichtspaltbreite wurde 0.2 mm eingestellt, während eine Lichtspaltlänge von 2.5 mm bei der vorliegenden durchschnittlichen Breite der Proteinfraktionen von 6 mm am geeignetsten erschien. Dadurch konnte erreicht werden, daß die im Einzelfall am Rande der Banden auftretenden Unregelmäßigkeiten bei der Auftrennung in der densitometrischen Aufzeichnung nicht zum Tragen kamen. Die Einstellung des Neutraldichtefilters wurde mit 1.4 CAL gewählt, die Lichtausfallsintensität betrug 4 %. Da die Auftrennstrecke rund 3 cm lang war (gemessen von der kathodischen Auftragsstelle bis zur am weitesten anodisch gewanderten Fraktion), mußte am Digital Integrator die Anzahl der Zählimpulse (Scan) mit "LONG" vorgegeben werden.

2.3.1 Kriterien bei der Auswertung

Um einen Vergleich zwischen den einzelnen Proteinogrammen zu ermöglichen, war es nötig, die densitometrische Auswertung zu normieren. Die Orientierung erfolgte dabei an der Wanderungsgeschwindigkeit der einzelnen Fraktionen, also an den Rm-Werten (Relative movement) der Proteine. Diese für die Auswertung entscheidende Voraussetzung war nun nicht in allen Fällen zwanglos zu erfüllen. Es war zu beobachten, daß sich mit zunehmender Versuchsdauer Veränderungen in den Elektropherogrammen abzeichneten, die das typische Bild (Grundansätze) dahingehend änderten, daß sich einerseits neue Fraktionen darstellten, andererseits aber auch die Trennung zwischen den Fraktionen weniger prägnant wurde. Die vom Densitometer aufgezeichneten Kurven zeigten bei längerer Lagerung der Proben für einzelne Fraktionen keine eindeutigen Kurvenmaxima, sondern gegebenenfalls waren in den Kurvenbildern die Fraktionen nur als Schultern ausgebildet, wobei die Grenze zwischen zwei Fraktionen nicht eindeutig zu ziehen war. In diesen Fällen konnte die Festlegung der Kurvenabschnitte nur dadurch erfolgen, daß typische Proteinogramme als Grundlage für die Unterteilung dienten. Zusätzlich mußte berücksichtigt werden, daß nicht in allen Proteinogrammen exakt dieselben Laufstrecken auftraten und damit die Betrachtung und Auswertung darüberhinaus erschwert wurden.

Ein weiteres Problem bei der densitometrischen Erfassung der Elektropherogramme stellte die Festlegung der Base line dar. Um den Nullpunkt vor Beginn der Aufzeichnung und deren Beendigung einzuhalten, war es erforderlich, daß die Folien gleichmäßig transparent waren. Dazu mußte die fixierte und entfärbte Folie in noch feuchtem Zustand unverzüglich gleichmäßig und blasenfrei auf die dafür vorgesehene Glasplatte aufgewalzt werden. Folienabschnitte,

die vor dem festen Kontakt mit der Glasplatte an der Luft getrocknet waren, wurden beim abschließenden Trocknen nicht mehr vollständig transparent, was zwangsläufig dazu führte, daß das Proteinogramm nicht ausgewertet werden konnte.

Weiterhin wurde geprüft, ob die mit dem Integrator erfaßten Verhältnisse in den Proteinogrammen eine hinreichend exakte Auswertung zuließen. Typische Kurven wurden hierzu, entsprechend der densitometrisch aufgezeichneten Linie, ausgeschnitten und in die Fraktionsanteile zerlegt. Daraufhin wurden die einzelnen Bestandteile gewogen und deren Gewicht relativiert. Dabei zeigte sich, daß die Auswertung der Kurven mit dem Integrator gut mit dem Ergebnis, das durch Wiegen gewonnen wurde, übereinstimmte.

3. Ergebnisse

3.1 Grundlegende densitometrische Auswertung des Fallmaterials

Es wurden alle 17 Fälle mit ihren Fraktionen und deren relativen Anteilen am Gesamteiweiß bezogen auf das postmortale Intervall erfaßt (Tabelle 1). Dabei lag der kürzeste Zeitraum bei 16 Stunden und der längste bei 74 Stunden p.m.. Den im Mittel größten Anteil wies Fraktion 8 mit 35.0 rel.% auf, während die Fraktionen 4 und 5 mit 1.8 rel.% bzw. 2.3 rel.% den geringsten Anteil im Proteinogramm zeigten. Die späterhin festgestellten Fraktionen 1 und 2 waren in den primären Ansätzen nicht nachweisbar. In den Fraktionen 6 bis 10 kamen durchschnittlich über 90 % der gelösten Muskelproteine zur Darstellung.

Bei globaler Betrachtung der Meßwerte ließen sich keine

Fall	h.p.m. (Stunden)	Fraktionen										Geschlecht
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
207/77	16	-	-	7.0	1.5	2.6	17.3	8.5	30.7	21.3	11.1	m
199/77	18	-	-	5.2	1.3	1.3	7.5	13.3	39.9	23.8	7.8	m
210/77	19	-	-	6.0	1.3	3.0	14.6	17.2	28.8	21.9	7.3	m
203/77	20	-	-	2.9	2.2	3.7	11.8	12.2	32.7	24.8	9.6	m
208/77	22	-	-	3.9	1.6	2.1	3.5	12.1	40.6	25.5	10.7	m
194/77	26	-	-	8.8	2.4	3.1	8.2	14.7	34.9	17.1	10.8	w
193/77	28	-	-	3.8	0.6	1.3	7.5	12.7	34.4	26.3	13.4	m
198/77	32	-	-	5.4	1.8	3.1	7.7	10.6	42.4	18.6	10.2	w
191/77	32	-	-	3.1	1.7	1.5	21.4	8.7	30.9	21.9	10.9	m
188/77	44	-	-	4.6	2.9	3.2	9.2	14.7	32.0	20.7	12.7	w
196/77	47	-	-	5.9	1.5	1.2	9.9	11.8	38.0	20.2	11.4	m
202/77	48	-	-	4.8	1.3	1.3	16.9	8.2	34.9	20.7	11.8	m
211/77	49	-	-	7.1	2.4	0.6	8.3	7.1	46.2	18.9	9.5	w

Fall	h.p.m. (Stunden)	Fraktionen										Geschlecht
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
200/77	50	-	-	3.3	1.4	1.8	12.9	9.7	31.2	30.3	8.4	m
189/77	53	-	-	5.5	3.1	2.4	17.6	8.7	30.2	21.4	11.3	m
205/77	73	-	-	9.5	2.3	4.4	15.1	8.4	33.8	18.7	7.9	m
201/77	74	-	-	5.7	1.3	1.7	9.3	12.2	33.0	26.2	10.6	w
$\bar{x}$	38	-	-	5.4	1.8	2.3	11.7	11.2	35.0	22.3	10.3	
s	18	-	-	1.9	0.7	1.0	4.8	2.8	4.8	3.5	1.7	

Tabelle 1: Aufgliederung der primär untersuchten Fälle in zeitlicher Reihenfolge (hp.m.) mit relativen Werten für die Konzentration der einzelnen Fraktionen
Fraktion 10: kathodisch
Fraktion 1: anodisch
$\bar{x}$: Mittelwert
s: Standardabweichung

straffen Zusammenhänge zwischen h.p.m. und prozentualem Anteil der Fraktionen erkennen. Auch die Berechnung führte zu keinen verwertbaren Korrelationen, wie aus Tabelle 2 hervorgeht.

Bei den 17 Fällen wurden für jede Fraktion Regressionsrechnungen durchgeführt. Der Regressionskoeffizient gibt die Steigung der Geraden an und bestimmt damit im wesentlichen die Geschwindigkeit der zeitabhängigen Veränderungen. Hierbei ergibt sich für Fraktion 7 ein relativ hoher Regressionskoeffizient mit negativem Vorzeichen, was auf eine relativ schnelle Konzentrationsabnahme dieser Fraktion zurückzuführen ist. Auch der mit -0.41 in dieser tabellarischen Aufstellung höchste Korrelationskoeffizient beweist, daß insbesondere Fraktion 7 am ehesten geeignet ist, in der frühen postmortalen Phase als zeitabhängiger Parameter herangezogen zu werden.

Als weiterer Parameter bietet sich Fraktion 3 an. Auch hierfür berechnet sich ein relativ hoher Regressionskoefffizient, jedoch mit positivem Vorzeichen. Die Zunahme ist jedoch nicht so straff korreliert ($r = 0.29$). Bei Fraktion 6 ist zwar ein relativ großes Änderungsmoment festzustellen, jedoch ist der Anstieg mit zunehmender Zeit nur gering korreliert ($r = 0.15$). Alle anderen Proteinfraktionen weisen im untersuchten Zeitraum von rund drei Tagen p.m. nur kleinste Veränderungen auf, die hinsichtlich der geringen korrelativen Zusammenhänge mit dem postmortalen Intervall für Zeitabschätzungen ungeeignet erscheinen.

Tage/rel.%	Fraktionen										N
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Regressions-koeffizient	-	-	0.71	0.21	-0.03	0.91	-1.49	-0.21	-0.15	0.02	17
Regressions-konstante	-	-	4.31	1.46	2.30	10.23	13.61	35.31	22.50	10.28	
Korrelations-koeffizient	-	-	0.29	0.25	-0.02	0.15	-0.41	-0.03	-0.03	0.01	

Tabelle 2: Beziehung zwischen dem postmortalen Intervall und den Relativwerten für die einzelnen Fraktionen der primär untersuchten Fälle.

3.2 Milieuabhängige quantitative Veränderungen in den Proteinogrammen

Nachdem die Gewebestücke unter den vorgenannten Bedingungen gelagert worden waren, ergaben sich Veränderungen in der Zusammensetzung des Proteinsspektrum , die durch die Auswertung mit dem Densitometer objektiviert werden konnten. So entstanden neue Banden, die in den primären Ansätzen nicht vorhanden waren (Fraktionen 1 und 2). Weiterhin war hinsichtlich der prozentualen Verteilung des Eiweißgehaltes in den Proteinogrammen eine schwerpunktmäßige Verschiebung zur Anode zu verzeichnen. Um diese Veränderungen verifizieren zu können, wurden die Untersuchungsergebnisse für vergleichende Betrachtungen auftabelliert.

3.2.1 Einfluß der Luftfeuchtigkeit

Es war zunächst zu prüfen, in welchem Ausmaß die Luftfeuchtigkeit zu Veränderungen in den Proteinogrammen geführt hatte. Dabei mußte unterschieden werden zwischen den Ansätzen niedriger und relativ hoher Temperatur.

3.2.1.1 Bei niedriger Temperatur

In Tabelle 3 sind die bei niedriger Temperatur von 5°C erhaltenen Ergebnisse zusammengestellt. Versuchsserie a (trocken) ist dabei Versuchsserie b (feucht) gegenübergestellt, um den Einfluß der Luftfeuchtigkeit festzustellen. Jedes dieser Gewebestücke wurde in einer Umgebung gelagert, bei der die Luft ständig relativ trocken gehalten wurde.

Grundsätzlich erkennt man beim Vergleich der Mittelwerte keine erheblichen Differenzen hinsichtlich des relativen

Versuchs-serie	Mittel-wert (s)	Fraktionen										N
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
a	$\bar{x}$	0.2	0.5	7.6	2.3	3.5	19.9	10.1	30.1	18.2	7.8	54
	s	0.5	0.8	2.9	1.1	1.8	4.7	2.5	4.0	4.5	3.0	
b	$\bar{x}$	0.3	0.7	7.0	2.3	4.6	19.8	10.2	29.8	17.7	7.0	56
	s	0.7	0.8	2.7	1.3	4.6	6.3	3.2	7.0	5.2	2.4	
a + b	$\bar{x}$	0.2	0.6	7.3	2.3	4.0	19.9	10.2	30.0	17.9	7.4	110
	s	0.6	0.8	2.8	1.2	3.5	5.8	2.8	5.7	4.7	2.6	

Tabelle 3: Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Eiweißzusammensetzung in den Proteinogrammen bei niedriger Temperaturbedingung (5°C)
a: trockenes Milieu
b: feuchtes Milieu
$\bar{x}$: Mittelwert
s: Standardabweichung

prozentualen Anteils der jeweiligen Proteinfraktionen. Fraktion 4 zeigt mit 2.3 % gleichbleibende Werte. Die Fraktionen 3, 6, 8, 9 und 10 weisen in der trockenen Versuchsanordnung einen höheren prozentualen Anteil auf. Dabei muß jedoch beachtet werden, daß die Differenzen äußerst gering sind. Die größte Veränderung ist noch für die Fraktionen 3 und 10 festzustellen, die bei feuchter Exposition jeweils um durchschnittlich 7.9 % abnahmen, während sie bei Fraktion 6 nur etwa 0.5 % von 19.9 rel.% betrug. Die Banden 1, 2, 5 und 7 zeigen bei feuchter Lagerung höhere prozentuale Anteile, wobei jedoch auch hier die Zunahme relativ gering ist. Generell fällt die hohe Streuung der Meßergebnisse auf, was sich aus den Standardabweichungen ablesen läßt.

3.2.1.2 Bei relativ hoher Temperatur

In Tabelle 4 sind unter die Ergebnisse von 59 Untersuchungsansätzen, die bei relativ hoher Temperatur (30°C) und niedriger Luftfeuchtigkeit gelagert wurden, zu Mittelwerten zusammengefaßt. Gegenübergestellt sind Messungen an 58 Proben, die ebenfalls bei entsprechender Temperatur, jedoch bei hoher Luftfeuchtigkeit aufbewahrt wurden. Auch hier sind die durch wasserdampfgesättigte Luft hervorgerufenen Veränderungen nicht sehr ausgeprägt. Die Fraktionen 1, 2,4, 5, 7 und 9 haben im Ansatz d durchweg eine mehr oder weniger starke Zunahme aufzuweisen. Am ausgeprägtesten ist dies bei den Fraktionen 1 und 2, wo man einen durchschnittlichen Anstieg um 50 % bzw. 18 % verzeichnen kann. Bande 7 erweist sich gegen Einflüsse der Luftfeuchtigkeit am stabilsten. In der Regel geringere Meßwerte im feuchten Milieu zeigen die Fraktionen 3, 6, 8 und 10. Das höchste Änderungsmoment im Sinne einer Abnahme bei hoher Luftfeuchtigkeit findet man bei Fraktion 3. Auch hier sind die Streuungen, wie an den

Versuchs-serie	Mittel-wert (s)	Fraktionen										N
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
c	$\bar{x}$	0.6	3.1	10.1	6.3	7.1	17.5	11.1	23.8	14.5	5.6	59
	s	0.7	2.2	6.1	5.1	3.8	4.4	3.7	8.3	4.3	2.2	
d	$\bar{x}$	1.2	3.8	9.1	6.5	7.7	16.4	11.2	23.4	15.4	5.3	58
	s	1.4	3.2	3.4	5.0	4.1	3.5	3.3	7.7	3.4	2.6	
c + d	$\bar{x}$	0.9	3.5	9.6	6.4	7.4	17.0	11.1	23.6	15.0	5.4	117
	s	1.0	2.8	4.9	5.0	4.0	3.9	3.6	8.1	3.9	2.4	

Tabelle 4: Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Eiweißzusammensetzung in den Proteinogrammen bei relativ hohen Temperaturbedingungen (30°C)
c: trockenes Milieu
d: feuchtes Milieu
$\bar{x}$: Mittelwert
s: Standardabweichung

Standardabweichungen erkennbar, generell relativ groß.

3.2.2 Einfluß der Temperatur

Nachdem im vorangegangenen Abschnitt der Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Veränderungen in den Proteinogrammen untersucht wurde, soll in diesem Kapitel auf die Bedeutung der Temperatur eingegangen werden. Dazu ist zwischen den Versuchsserien trockenes und feuchtes Milieu zu differenzieren.

3.2.2.1 Bei geringer Luftfeuchtigkeit

Dazu wurden Versuchsserie a und Versuchsserie c in Tabelle 5 gegenübergestellt. Man erkennt beim Vergleich der mittleren relativen Anteile der einzelnen Fraktionen deutliche Unterschiede zwischen kaltem (5°C) und warmem (30°C) Milieu. Die Fraktionen 1, 2, 3, 4 und 5 zeigen einen deutlich höheren Wert, wenn die Lagerung des Muskelgewebes bei 30°C erfolgte. Die Fraktion 7 zeigt die geringsten Unterschiede und ist damit die Fraktion, die sich gegen Temperatureinflüsse am stabilsten zeigt. Die höchste Differenz findet man bei den Fraktionen 1 und 2, deren Anteil im Ansatz a im Mittel 67 % bzw. 84 % niedriger ist als im Ansatz c.

Die Fraktionen 6, 8, 9 und 10 weisen in Versuchsserie a die höheren Werte auf. Auch hier sind die Standardabweichungen generell hoch, so daß mit erheblichen Streuungen zu rechnen ist. Besonders auffällig sind diesbezüglich Fraktion 1 und 2.

Insgesamt kann man eine schwerpunktsmäßige Verschiebung des Eiweißgehaltes in den Proteinogrammen zur Anode hin feststellen. Im Ansatz a beinhalten die Fraktionen 1 bis

Versuchs-serie	Mittel-wert (s)	Fraktionen										N
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
a	$\bar{x}$	0.2	0.5	7.6	2.3	3.5	19.9	10.1	30.1	18.2	7.8	54
	s	0.5	0.8	2.9	1.1	1.8	4.7	2.5	4.0	4.5	3.0	
c	$\bar{x}$	0.6	3.1	10.1	6.3	7.1	17.5	11.1	23.8	14.5	5.6	59
	s	0.7	2.2	6.1	5.1	3.8	4.4	3.7	8.3	4.3	2.2	
a + c	$\bar{x}$	0.4	1.9	8.9	4.3	5.3	18.9	10.6	26.9	16.4	6.7	113
	s	0.6	1.7	5.0	3.4	2.9	4.6	3.1	7.3	4.4	2.6	

Tabelle 5: Einfluß der Temperatur auf die Eiweißzusammensetzung in den Proteinogrammen bei geringer Luftfeuchtigkeit
a: niedrige Temperatur
c: relativ hohe Temperatur
$\bar{x}$: Mittelwert
s: Standardabweichung

5 ca. 14 % der insgesamt aufgetrennten Eiweißkörper, während sie in Ansatz c bereits über 27 % angestiegen sind.

3.2.2.2 Bei hoher Luftfeuchtigkeit

Tabelle 6 stellt Versuchsserie b der Untersuchungsreihe d gegenüber. Damit sind Veränderungen in den prozentualen Werten demonstriert, die durch den Temperaturunterschied im feuchten Milieu zustande kommen.

Im wesentlichen bestätigen sich die Ergebnisse aus Tabelle 5. Die Fraktionen 1, 2, 3, 4 und 5 zeigen bei der höheren Lagerungstemperatur größere prozentuale Anteile. So erkennt man wiederum bei Fraktion 1 und 2 eine deutliche Zunahme um 0.9 rel.% bzw. 3.1 rel.%, was einem Anstieg auf das Vierfache bzw. über das Fünffache entspricht. Diese beiden Fraktionen zeigen mithin bei den verschiedenen Temperaturen die größte Änderung ihres prozentualen Anteils. Als relativ konstant erscheint Fraktion 7. Der Unterschied zwischen den bei 5°C bzw. 30°C gelagerten Proben ist hier sehr gering.

Im Gegensatz dazu weisen die Fraktionen 6, 8, 9 und 10 den höheren Anteil in der Versuchsreihe b auf. Die Veränderungen sind bei Fraktion 10 am größten und bei Fraktion 9 am geringsten. Diese im kathodischen Bereich liegenden Proteine nehmen also, wie aus Tabelle 6 zu erkennen ist, mit steigender Temperatur in ihrem prozentualen Anteil an der Gesamtmenge der Proteine ab.

Versuchs-serie	Mittel-wert (s)	Fraktionen										N
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
b	$\bar{x}$	0.3	0.7	7.0	2.3	4.6	19.8	10.2	29.8	17.7	7.0	56
	s	0.7	0.8	2.7	1.3	4.6	6.3	3.2	7.0	5.2	2.4	
d	$\bar{x}$	1.2	3.8	9.1	6.5	7.7	16.4	11.2	23.4	15.4	5.3	58
	s	1.4	3.2	3.4	5.0	4.1	3.5	3.3	7.7	3.4	2.6	
b + d	$\bar{x}$	0.7	2.3	8.0	2.5	6.2	18.1	10.7	26.7	16.6	6.2	114
	s	1.2	2.8	3.3	3.4	4.4	5.0	3.3	7.5	4.4	2.6	

Tabelle 6: Einfluß der Temperatur auf die Eiweißzusammensetzung in den Proteinogrammen bei hoher Luftfeuchtigkeit
b: niedrige Temperatur
d: relativ hohe Temperatur
$\bar{x}$: Mittelwert
s: Standardabweichung

3.3 Zeitabhängige quantitative Veränderungen in den Proteinogrammen

Wie gezeigt werden konnte, hat die Luftfeuchtigkeit einen geringen Einfluß auf die quantitative Zu- oder Abnahme der einzelnen Fraktionen. Demgegenüber führen unterschiedliche Versuchstemperaturen in nicht unerheblichem Maße zu Veränderungen in der Zusammensetzung der Proteinogramme. Bei der zeitlichen Zuordnung der Elektropherogramme sind deshalb in erster Linie die Temperatureinflüsse zu berücksichtigen.

3.3.1 Bei niedriger Temperatur

Es wurden alle ausgewerteten Proben, die bei 5°C gelagert worden waren, unter Berücksichtigung der Untersuchungsdauer in Tabelle 7 erfaßt. Dazu wurde das Untersuchungsmaterial in vier Zeitintervalle aufgegliedert, die sich aus der Tabelle unter Angabe von Mittelwerten und deren Standardabweichungen ergeben.

Im Hinblick auf die zeitlichen Verhältnisse sind unterschiedliche Veränderungen für die einzelnen Fraktionen zu erkennen. Eine relativ konstante Zunahme läßt sich bei Fraktion 3 und 4 feststellen. Die mit zunehmender Versuchsdauer zu beobachtenden Anstiege in den relativen prozentualen Anteilen der beiden Fraktionen sind unter Berücksichtigung der Zeitintervalle in etwa gleich groß. Man kann also hier von einer weitgehend zeitabhängigen Veränderung ausgehen.

Eine durchgehend festzustellende Abnahme zeigen die Fraktionen 8 und 9, wobei insbesondere Fraktion 9 deutlich an Substanz verliert. Weniger zielgerichtet ist das Verhalten der Fraktion 6. Zunächst ist auch hier ein

Untersuchungsdauer (Tage)		Mittelwert (s)	Fraktionen										N
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1 - 3	2.5	$\bar{x}$	0.1	0.3	5.3	2.0	3.2	16.4	9.1	32.7	21.5	9.4	26
	0.8	s	0.7	0.7	1.8	1.3	2.0	6.9	2.9	5.1	5.0	2.2	
6 - 10	8.2	$\bar{x}$	0.1	0.3	7.6	2.2	4.2	19.3	9.0	31,4	19.0	7.1	26
	1.0	s	0.4	0.4	2.6	0.7	3.9	3.2	1.5	4.1	3.6	1.4	
14 - 18	15.5	$\bar{x}$	0.4	0.8	7.9	2.4	3.9	21.9	10.1	29.2	16.5	7.0	34
	1.5	s	0.8	0.9	2.9	1.0	2.4	5.0	2.6	4.8	3.4	2.8	
20 - 32	27.2	$\bar{x}$	0.3	1.0	8.4	2.6	5.2	21.9	12.3	27.5	15.0	6.0	24
	4.3	s	0.5	0.9	3.0	1.5	5.4	5.1	2.5	5.2	4.9	3.0	

Tabelle 7: Einfluß der Zeit auf die Eiweißzusammensetzung in dem Proteinogramm bei niedriger Temperatur (5°C)

$\bar{x}$: Mittelwert

s: Standardabweichung

kontinuierlicher Substanzverlust zu verzeichnen, der sich jedoch zuletzt nicht fortsetzt. Die anderen Fraktionen ergeben ein mehr oder weniger uneinheitliches Bild. Es kann hier keine konsequent zeitabhängige Veränderung registriert werden. Bei den Fraktionen 1 und 2 fallen die hohen Standardabweichungen auf, was auf eine sehr erhebliche Streuung zurückzuführen ist.

3.3.2 Bei relativ hoher Temperatur

Für die bei relativ hoher Temperatur gelagerten Proben wurden wiederum vier Zeitintervalle vorgegeben. Die erste Untersuchungsserie erfolgte dabei im Mittel nach rund 22 Stunden. Die zweite nach durchschnittlich ca. 41 Stunden, die dritte nach rund zwei Tagen und die letzte nach etwa drei Tagen. Es ist bei der folgenden Betrachtung der Tabelle 8 deshalb zu berücksichtigen, daß der zeitliche Abstand zwischen der zweiten und der dritten Untersuchungsserie relativ kurz ist.

Die Fraktionen 2, 3, 4 und 5 zeigen in Tabelle 8 eine mit der Zeit in Beziehung stehende Zunahme, die sich vom ersten bis zum letzten Zeitintervall verfolgen läßt. Es deutet sich eine proportionale Beziehung zwischen Dauer der Lagerung und Größenordnung des mittleren prozentualen Anteils für diese Fraktionen an. Ein umgekehrtes Verhalten zeigen die Fraktionen 6 und 8. Diese beiden Proteinfraktionen nehmen konstant ab. Die Fraktionen 9 und 10 weisen im mittleren Untersuchungsabschnitt keine auffälligen Konzentrationsveränderungen auf, obwohl generell eine Konzentrationsabnahme über die Zeit zu erkennen ist. Keine eindeutigen Gesetzmäßigkeiten lassen sich aus den Untersuchungsergebnissen für die Fraktionen 1 und 7 ableiten.

Untersuchungsdauer (Stunden)		Mittelwert (s)	Fraktionen										N
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
7 - 26	22.1	$\bar{x}$	0.7	1.3	8.5	2.2	4.8	18.6	9.6	31.6	15.8	6.8	33
	6.1	s	0.8	1.1	2.0	0.5	2.0	2.6	2.1	3.8	3.6	2.5	
33 - 43	41.2	$\bar{x}$	0.6	3.6	9.2	6.0	7.1	16.9	12.8	22.4	14.8	5.0	30
	3.3	s	0.7	1.7	7.1	3.5	3.8	4.1	5.0	7.6	4.1	2.2	
48 - 54	49.5	$\bar{x}$	1.5	3.9	9.3	7.1	7.8	16.7	11.9	21.2	14.8	5.0	25
	2.2	s	1.6	2.5	3.1	4.3	3.7	4.9	3.3	6.2	3.0	2.5	
67.5 - 74	72.1	$\bar{x}$	1.0	4.5	9.8	10.8	9.8	16.2	10.4	18.9	14.2	4.5	24
	1.7	s	1.3	2.3	3.0	6.0	4.8	4.0	2.2	5.9	3.4	1.9	

Tabelle 8: Einfluß der Zeit auf die Eiweißzusammensetzung in den Proteinogrammen bei relativ hoher Temperatur (30°C)
$\bar{x}$: Mittelwert
s: Standardabweichung

3.3.3 Zeitabhängige quantitative Veränderungen der einzelnen Fraktionen

Um einen Überblick über die Veränderungen der einzelnen Proteinfraktionen im Laufe der Untersuchungszeit zu erhalten, wurden für die bei 5°C gelagerten und die 30°C ausgesetzten Proben Beziehungen zwischen relativem prozentualem Anteil der Proteine und der Versuchsdauer festgestellt. Dazu wurde für jede Fraktion eine Regressionsanalyse durchgeführt und die berechneten Ergebnisse graphisch dargestellt.

3.3.3.1 Fraktion 1 (P_1)

Betrachtet man die Regressionsgerade für das 5°C Milieu (Abbildung 1), so wird deutlich, daß von einem Wert von 0.12 rel.% ausgehend (Regressionskonstante) ein kaum merkbarer Anstieg in den ersten 10 Tagen erfolgt. Dieser beträgt rund 0.1 rel.% pro Tag. Die in die Berechnung eingegangenen Werte sind nicht sehr straff korreliert (r : 0.12). Damit ließen sich die Verhältnisse unter den gegebenen Versuchsbedingungen wie folgt formelmäßig erfassen:

$$\text{Tage}_{(5^\circ C)} = \frac{P_1 \text{ (rel.\%)} - 0.12}{0.01}$$

Bei der ungleich höheren Temperatur (30°C) erfolgt, wie in Abbildung 2 zu erkennen ist, der Anstieg der prozentualen Anteile deutlich schneller. Schon in den ersten Tagen zeichnet sich ein erkennbar höherer Wert ab. Relativer Anteil und Untersuchungszeit sind jedoch auch hier nur schwach miteinander korreliert, was in dem Korrelationskoeffizienten von 0.14 zum Ausdruck kommt. Die Regressionsgerade ist mit folgender Formel beschrieben:

$$\text{Tage}_{(30^\circ C)} = \frac{P_1 \text{ (rel.\%)} - 0.52}{0.21}$$

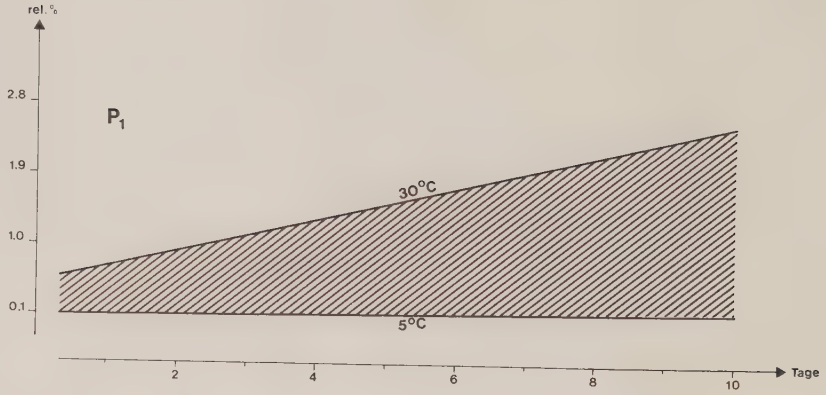

Abbildung 1: Regressionsanalyse für die Zeit-Konzentrationsbeziehung von Fraktion P_1 bei 5°C und 30°C

3.3.3.2 Fraktion 2 (P_2)

Bei kühler Temperatur ist das Verhalten der Fraktion 2 mit P_1 weitgehend übereinstimmend (Abbildung 2). Auch hier kommt es zu keinen wesentlichen Konzentrationsveränderungen, was in dem geringen Anstieg der Regressionsgeraden für 5°C zum Ausdruck kommt. Ein Unterschied besteht in der Höhe des Proteinanteils der Fraktion 2, die einen Ausgangswert von 0.23 rel.% aufweist. Straffer korreliert (r:0.32) und somit zwingender in ihrer Aussage erscheint diese Regressionsgerade. Die Zeit-Konzentrationsbeziehung stellt sich wie folgt dar:

$$\text{Tage}_{(5^\circ C)} = \frac{P_{2(\text{rel.}\%)} - 0.23}{0.03}$$

Einen relativ hohen Zuwachs (Regressionskoeffizient:1.74) erfährt Fraktion 2, wenn die Lagerung der Proben bei einer Temperatur von 30°C erfolgt. Dies zeigt die Regressionsgerade für diese Proteinfraktion sehr deutlich. Dabei ist die Beziehung zwischen Zeit und Konzentrationsanstieg relativ straff korreliert. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0.54. Für die Berechnung läßt sich nachfolgende Formel angeben:

$$\text{Tage}_{(30^\circ C)} = \frac{P_{1(\text{rel.}\%)} - 0.13}{1.74}$$

3.3.3.3 Fraktion 3 (P_3)

Die Fraktion 3 nimmt mit ihrem prozentualen Anteil an der Gesamtmenge der Proteine unter beiden Versuchstemperaturen merklich zu (Abbildung 3). Ausgehend von einem Wert von rund 5.9 rel.% sind nach 10 Tagen etwa 6.9 rel.% erreicht, wenn eine Temperatur von 5°C gegeben ist. Dies entspricht einer täglichen Konzentrationszunahme von 0.1 rel.%. P_3 hat damit die höchste Zuwachsrate unter

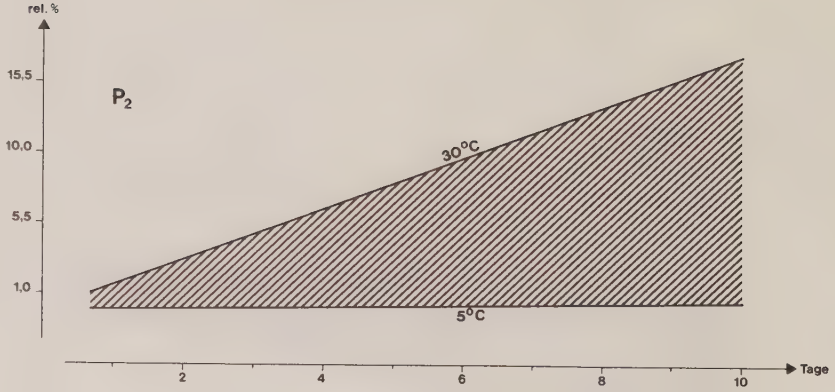

Abbildung 2: Regressionsanalyse für die Zeit-Konzentrationsbeziehung von Fraktion P_2 bei 5°C und 30°C

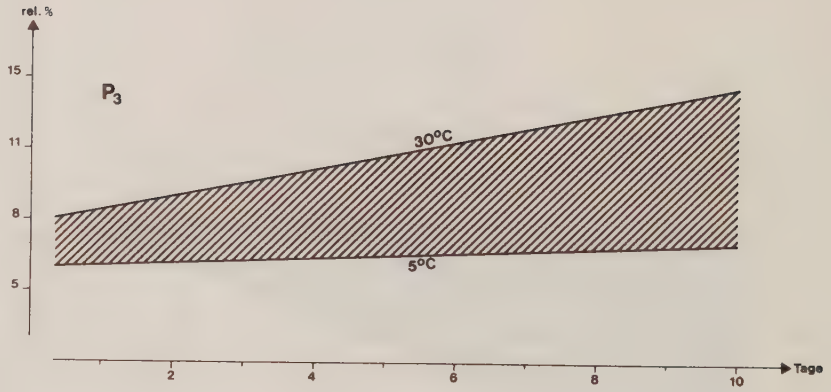

Abbildung 3: Regressionsanalyse für die Zeit-Konzentrationsbeziehung von Fraktion P_3 bei 5°C und 30°C

den Fraktionen 1 - 5. Bei einem Korrelationskoeffizienten von 0.33 sind die Beziehungen mit folgender Formel erfaßt:

$$\text{Tage}_{(5^{\circ}C)} = \frac{P_3 \text{ (rel.\%)} - 5.94}{0.10}$$

Weniger straff korreliert sind die Ergebnisse für die bei 30°C gelagerten Muskelproben, da sich lediglich ein Korrelationskoeffizient von 0.12 berechnen läßt. Der Anstieg von rund 7.9 rel.% auf 14 rel.% ist recht erheblich innerhalb von 10 Tagen. Es ist zu erkennen, daß der Temperaturunterschied von 25°C mit einer etwa siebenmal höheren Steigung der Regressionsgeraden einhergeht. Dies kommt in der nachstehenden Formel im Vergleich mit den oben dargestellten Verhältnissen zum Ausdruck:

$$\text{Tage}_{(30^{\circ}C)} = \frac{P_3 \text{ rel.\%} - 7.87}{0.68}$$

3.3.3.4 Fraktion 4 (P_4)

Bei globaler Betrachtung erweisen sich die Verhältnisse für die Fraktion 4, wie sie sich aus Abbildung 4 ergeben, auffällig. Die Veränderungen, die in der Größe der schraffierten Fläche zum Ausdruck kommen, sind bei P_4 relativ markant. So zeigt P_4 bei kühler Temperatur einen kaum merklichen Anstieg innerhalb der ersten fünf Tage nach Versuchsbeginn. Der prozentuale Anteil bewegt sich dabei in der Größenordnung von knapp über 2 rel.%. Demgegenüber fällt der steile Konzentrationsanstieg für die bei 30°C gelagerten Proben auf. Mit einer täglichen Zunahme von 3.9 rel.% zeigt P_4 dabei den größten Anstieg aller untersuchten Fraktionen. Zudem ist der Korrelationskoeffizient mit 0.61 relativ hoch, so daß ein straffer korrelativer Zusammenhang zwischen Zeit und Konzentrationsanstieg gegeben ist. Die bei 5°C festgestellten Veränderungen im Verhalten der Fraktion 4 erweisen sich unter Berück-

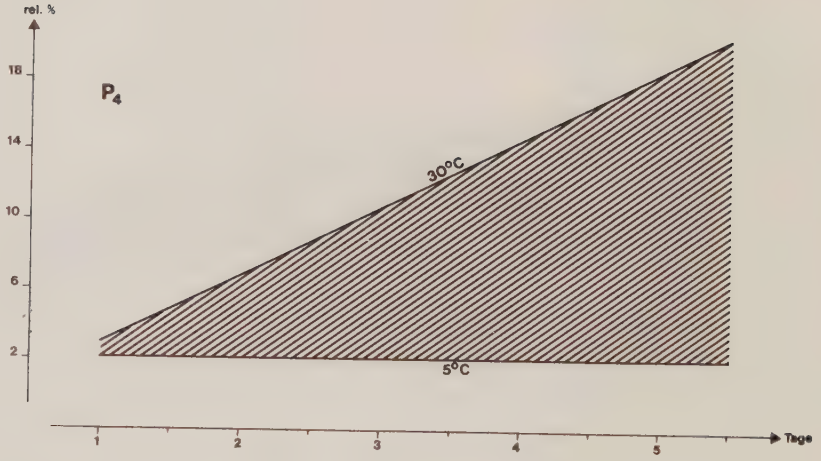

Abbildung 4: Regressionsanalyse für die Zeit-Konzentrationsbeziehung von Fraktion P_4 bei $5^{\circ}C$ und $30^{\circ}C$

sichtigung des Korrelationskoeffizienten (r : 0.14) demgegenüber weniger zwingend. Für P_4 lassen sich nach den Berechnungen folgende Formeln angeben:

$$Tage_{(5^oC)} = \frac{P_4 \text{ (rel.\%)} - 2.06}{0.02}$$

$$Tage_{(30^oC)} = \frac{P_4 \text{ (rel.\%)} - 1.16}{3.9}$$

3.3.3.5 Fraktion 5 (P_5)

Ein relativ ähnliches Bild wie Fraktion 4 bietet Fraktion 5 (Abbildung 5). Im Untersuchungszeitraum von fünf Tagen änderte sich der relative prozentuale Anteil dieser Fraktion bei 5°C unwesentlich. Die Steigung der Regressionsgeraden beträgt nur 0.04, d.h. in fünf Tagen ist eine Zunahme der Konzentration um 0.2 rel.% zu verzeichnen. Der Korrelationskoeffizient für diese Regressionsgerade ist mit 0.11 relativ klein, so daß ein nur lockerer Zusammenhang zwischen den Parametern besteht. Die Verhältnisse sind mit der nachstehenden Formel wiedergegeben:

$$Tage_{(5^oC)} = \frac{P_5 \text{ (rel.\%)} - 3.51}{0.04}$$

Wesentlich markanter sind dagegen Ergebnisse, die bei 30°C erhalten wurden. Der Korrelationskoeffizient zeigt mit einem Wert von 0.44 eine straffere Beziehung zwischen Versuchsdauer und relativer Konzentration. Die tägliche Konzentrationszunahme ist mit 2.29 rel.% relativ hoch, was auch aus der formelmäßigen Wiedergabe der Zeit-Konzentrationsberechnungen hervorgeht:

$$Tage_{(30^oC)} = \frac{P_5 \text{ (rel.\%)} - 3.24}{2.29}$$

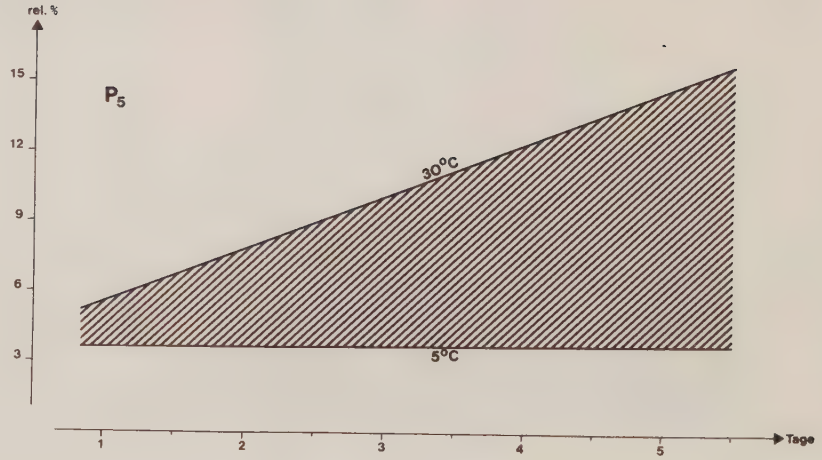

Abbildung 5: Regressionsanalyse für die Zeit-Konzentrationsbeziehung von Fraktion P_5 bei 5°C und 30°C

3.3.3.6 Fraktion 6 (P_6)

Werden die Muskelproben im Versuch 5°C ausgesetzt, kommt es zu einem geringen Anstieg der prozentualen Anteile für P_6 (Abbildung 6). So steigt nach der Regressionsanalyse der Wert von 17.1 rel.% am zweiten Tag auf 18 rel.% am sechsten Tag an. Dabei ist die prozentuale Zunahme relativ straff korreliert, wie sich aus den Korrelationskoeffizienten von 0.40 entnehmen läßt. Ein grundsätzlich anderes Verhalten, als für vorgenannte Fraktionen läßt sich aus der Regressionsgeraden für 30°C ablesen. Es zeigt sich nämlich, daß mit zunehmender Temperatur und Versuchsdauer P_6 anteilig abnimmt. Der Wert fällt von 16.9 rel.% am zweiten Tag bis auf 12.6 rel.% am sechsten Tag. Der Korrelationskoeffizient beträgt dabei -0.19. Die Verhältnisse lassen sich durch folgende Formel beschreiben:

$$\text{Tage}_{(5^\circ C)} = \frac{P_6\ (\text{rel.}\%) - 16.69}{0.25}$$

$$\text{Tage}_{(30^\circ C)} = \frac{18.97 - P_6\ (\text{rel.}\%)}{0.97}$$

3.3.3.7 Fraktion 7 (P_7)

Die Veränderungen für Fraktion 7 können in Abbildung 7 über rund 10 Tage verfolgt werden. Bei beiden Temperaturstufen tritt eine Zunahme der relativen prozentualen Anteile auf. Die Regressionsgerade für P_7 weist bei einer Temperatur von 5°C eine Steigung von 0.13 rel.% pro Tag auf. Für 30°C beträgt der Regressionskoeffizient 0.58. Aus der im Vergleich zu den anderen Fraktionen relativ kleinen Fläche zwischen den beiden Regressionsgeraden läßt sich entnehmen, daß Fraktion 7 gegenüber Temperatureinflüssen relativ stabil ist. Einschränkend muß gesagt werden, daß eine straffe Korrelation (r = 0.12) bei 30°C

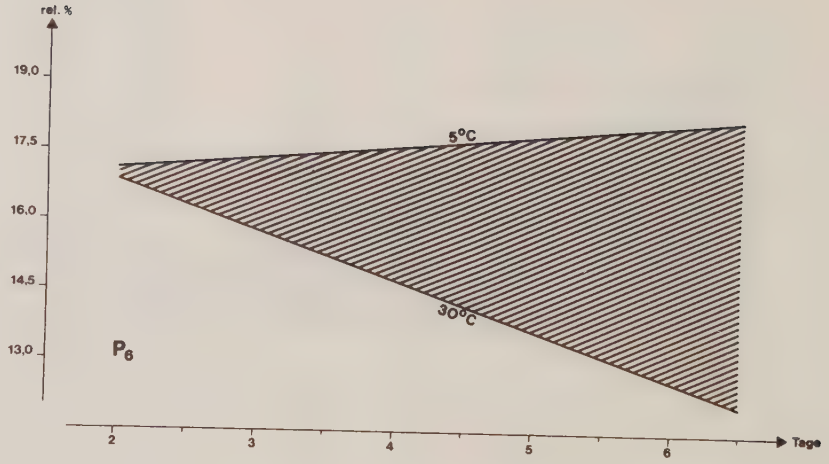

Abbildung 6: Regressionsanalyse für die Zeit-Konzentrationsbeziehung von Fraktion P_6 bei 5°C und 30°C

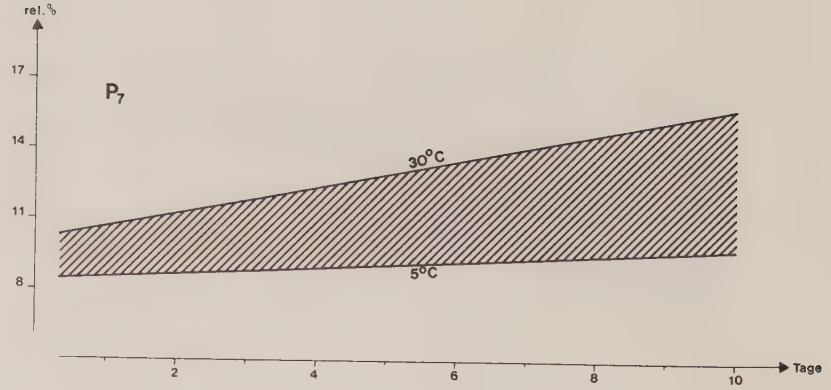

Abbildung 7: Regressionsanalyse für die Zeit-Konzentrationsbeziehung von Fraktion P_7 bei 5°C und 30°C.

nicht gegeben ist (r = 0.12). Besser korreliert sind die zeitabhängigen Veränderungen für Fraktion 7 bei 5°C (r = 0.42). Folgende Regressionsgeraden wurden berechnet:

$$\text{Tage}_{(5^\circ C)} = \frac{P_7\ (\text{rel.\%}) - 8.41}{0.13}$$

$$\text{Tage}_{(30^\circ C)} = \frac{P_7\ (\text{rel.\%}) - 10.07}{0.58}$$

3.3.3.8 Fraktion 8 (P_8)

Bei Fraktion 8 ist unter beiden Temperaturbedingungen eine Abnahme der relativen prozentualen Anteile festzustellen (Abbildung 8). Bei den Proben, die einer Temperatur von 5°C ausgesetzt waren, sinkt der relative prozentuale Anteil innerhalb von vier Tagen nur gering (Regressionskoeffizient: -0.21). Eine starke Abnahme zeigt sich bei der Versuchstemperatur von 30°C. Innerhalb eines Untersuchungszeitraumes von vier Tagen fällt der relative prozentuale Anteil von rund 33 rel.% auf etwa 5 rel.% ab. An dem hohen Korrelationskoeffizienten läßt sich ablesen, daß die Beziehung zwischen Zeit und Konzentration bei 30°C relativ straff ist (r : -0.61). Dagegen ist die Abnahme bei 5°C nur gering korreliert (r : -0.37). Fraktion 8 ist damit diejenige Eiweißfraktion, die durch Temperatur am stärksten beeinflußt wird:

$$\text{Tage}_{(5^\circ C)} = \frac{32.95 - P_8\ (\text{rel.\%})}{0.21}$$

$$\text{Tage}_{(30^\circ C)} = \frac{35.56 - P_8\ (\text{rel.\%})}{6.23}$$

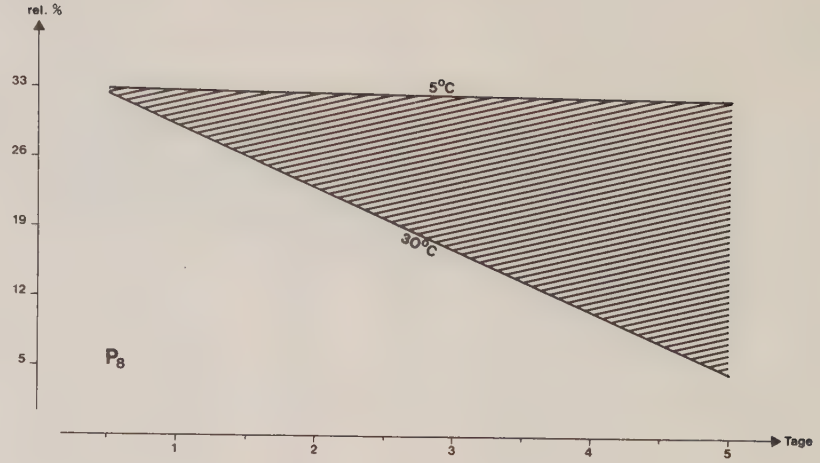

Abbildung 8: Regressionsanalyse für die Zeit-Konzentrationsbeziehung von Fraktion P_8 bei 5°C und 30°C

3.3.3.9 Fraktion 9 (P_9)

In geringerem Maße durch die Temperatur beeinflußbar ist Fraktion 9. Unter beiden Temperaturbedingungen ist die Konzentrationsabnahme relativ gering. Bei 5°C errechnet sich ein Regressionskoeffizient von -0.25, während er bei 30°C -0.92 beträgt. Bei 30°C ist der Korrelationskoeffizient mit -0.19 niedrig. Straffer korreliert sind die Ergebnisse, wenn die Muskelproben der niedereren Versuchstemperatur von 5°C ausgesetzt wurden (r = -0.49). Abbildung 9 macht deutlich, daß innerhalb der ersten fünf Tage das Verhalten der Fraktion 9 durch die Temperatur nicht wesentlich beeinflußt wird. Die bei 30°C gelagerten Proben weisen bei der ersten Untersuchung etwa 17 rel.% auf und die bei 5°C aufbewahrten etwa 21 rel.%. Die Regressionsanalyse kommt zu dem Ergebnis:

$$\text{Tage}_{(5^\circ C)} = \frac{21.29 - P_9\ (\text{rel.\%})}{0.25}$$

$$\text{Tage}_{(30^\circ C)} = \frac{16.92 - P_9\ (\text{rel.\%})}{0.92}$$

3.3.3.10 Fraktion 10 (P_{10})

Das Verhalten von Fraktion 10 ergibt sich aus Abbildung 10 für die ersten fünf Tage. Dabei zeigt sich bei niederer Temperatur mit zunehmender Versuchsdauer eine geringe Abnahme der Konzentration, wobei der Regressionskoeffizient -0.11 und der Korrelationskoeffizient -0.37 betragen. Deutlicher vollzieht sich die Abnahme in Fraktion 10, wenn die Proben der höheren Temperatur ausgesetzt sind. Der für diese Versuchsbedingungen errechnete Regressionskoeffizient beträgt -1.15. Mit -0.36 ist der Korrelationskoeffizient wie bei 5°C relativ niedrig.

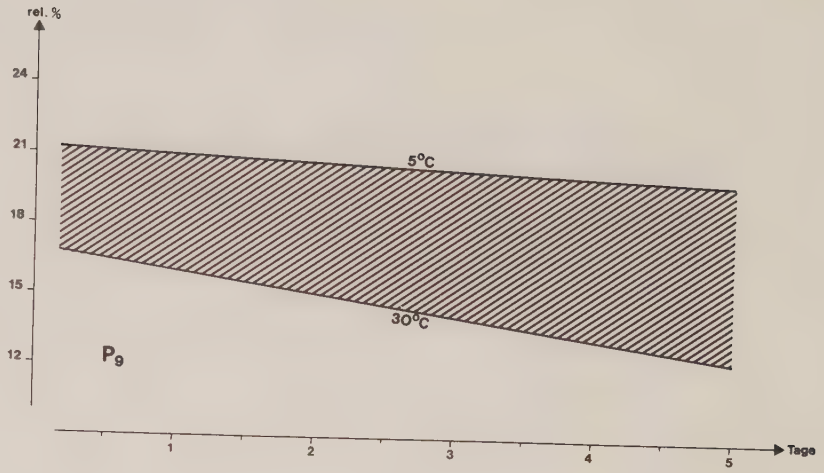

Abbildung 9: Regressionsanalyse für die Zeit-Konzentrationsbeziehung von Fraktion P_9 bei 5°C und 30°C

Es wird deutlich, daß die Abnahme der Konzentration in Fraktion 10 durch die Temperatur stark beeinflußt werden kann. Der Temperaturunterschied von 25°C bewirkt eine Konzentrationsveränderung um etwa das Zehnfache. Die Verhältnisse lassen sich in die nachstehenden Formeln fassen:

$$\text{Tage}_{(5^\circ C)} = \frac{8.83 - P_{10}\ (\text{rel.}\%)}{0.11}$$

$$\text{Tage}_{(30^\circ C)} = \frac{7.55 - P_{10}\ (\text{rel.}\%)}{1.15}$$

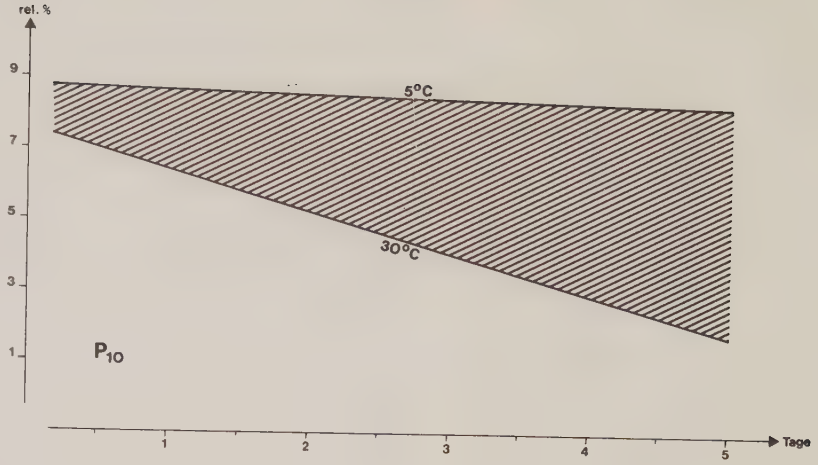

Abbildung 10: Regressionsanalyse für die Zeit-Konzentrationsbeziehung von Fraktion P_{10} bei $5^{\circ}C$ und $30^{\circ}C$

4. Diskussion

Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob die Auswahl des speziellen Fallmaterials einen Einfluß auf die Ergebnisse der Arbeit gehabt hat. Diesbezüglich ist festzustellen, daß zur Untersuchung nur solche Fälle herangezogen wurden, bei denen davon ausgegangen werden konnte, daß das entnommene Muskelgewebe nicht pathologisch verändert war. Andererseits wurden die vorliegenden Ergebnisse an einem repräsentativen Querschnitt durch das gerichtsmedizinische Sektionsgut gewonnen und lassen sich damit weitgehend in die forensische Praxis übertragen. Allerdings muß die relativ geringe Anzahl der untersuchten Fälle berücksichtigt werden, wenn man die dargestellten Ergebnisse zur Grundlage bei der Todeszeitbestimmung heranzieht.

Während der gesamten Versuchsreihe waren die Muskelproben ubiquitären Verhältnissen ausgesetzt. Bei der Entnahme wurden keine sterilen Bedingungen eingehalten und eine spezielle bakterielle Kontamination späterhin nicht vorgenommen. Die festgestellten Veränderungen erklären sich zwangsläufig durch enzymatische Einflüsse bzw. durch bakterielle Zersetzung. Auch an der Leiche führen enzymatische und mikrobielle Vorgänge zu entsprechenden Veränderungen. Diese in der Natur angetroffenen Verhältnisse wurden im Versuch weitgehend simuliert, um eine wirklichkeitsnahe Aussage durch die erzielten Ergebnisse zu ermöglichen. In der Regel bleibt das Muskelgewebe unter natürlichen Bedingungen von der Haut bedeckt. Im Versuch mußte zwangsläufig bei der Entnahme die bedeckende Haut entfernt werden. Außerdem wurden die Muskelproben zu Versuchsbeginn portioniert und dadurch wurde die Kontaminationsfläche vergrößert. Es ist insofern wahrscheinlich, daß im Versuch die mikrobielle Zersetzung im Vordergrund stand und damit zu einer Verfälschung der natürlichen

Abbauvorgänge geführt haben kann. Weitgehend anaerobe Verhältnisse wurden durch die fest verschließbaren Plastikgefäße simuliert. Damit vergleichbare Bedingungen herrschen auch an der Leiche, da der ungehinderte Zutritt von Luft an das Muskelgewebe durch die bedeckende Haut verhindert wird.

Bei globaler Betrachtung der Elektropherogramme erkennt man im anodischen Teil eine Zunahme der Konzentrationen, während sich im kathodischen Bereich eine Abnahme der relativen prozentualen Anteile abzeichnet. Dieses Phänomen tritt besonders deutlich in Proteinogrammen von Muskelproben auf, die über längere Zeit gelagert wurden. Außerdem sind die Grenzen zwischen den einzelnen Fraktionen mit zunehmender Versuchsdauer nicht mehr so deutlich zu erkennen. Das Auftreten neuer Proteinbanden und die Unschärfe der einzelnen Fraktionen erklären sich aus der Proteolyse. Dieser Vorgang führt u.a. zur Bildung der Fraktionen 1 und 2, die in den Elektropherogrammen der primären Untersuchungen grundsätzlich nicht festzustellen sind.

Die in Tabelle 1 und 2 dargestellten Ergebnisse für die primär untersuchten Fälle lassen keinen straffen Zusammenhang zwischen dem Todeszeitpunkt und der Proteinkonzentration erkennen. Nur die Fraktionen 3, 4 und 7 weisen eine Korrelation auf, die einen gewissen Zusammenhang erkennen läßt. Dabei nimmt die Konzentration von Fraktion 7 im untersuchten Zeitraum am stärksten ab. Hinsichtlich des relativ hohen Korrelationskoeffizienten ist diese Fraktion am ehesten geeignet, zu einer Eingrenzung des Todeszeitpunktes herangezogen zu werden. Allerdings ist durch die Abnahme der Konzentration eine Aussage bei längeren Liegezeiten nicht mehr möglich. Fraktion 3 und 4 dagegen erfahren eine Zunahme. Sie eignen sich damit besser für die Eingrenzung des Todeszeitpunktes in der

späten postmortalen Phase, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, daß die Korrelation relativ gering ist und damit eine hinreichend exakte Bestimmung des postmortalen Intervalls nicht gegeben ist.

Welche Rolle äußere Bedingungen beim postmortalen Eiweißabbau spielen, verdeutlichen die Tabellen 3 und 4. Durchweg nimmt die Eiweißzersetzung bei Feuchtigkeit im Vergleich zum trockenen Milieu nur geringgradig zu. Der Grad der Beeinflußbarkeit ist für jede Fraktion unterschiedlich. Relativ stabil zeigen sich die Fraktionen 4, 6, 7, 8 und 9. Die Mehrzahl der in den Proteinogrammen erfaßten Fraktionen ist also weitgehend unbeeinflußbar, so daß die Luftfeuchtigkeit für die Bestimmung des postmortalen Intervalls eine untergeordnete Rolle spielt und deshalb praktisch vernachlässigt werden kann. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang die Feststellung, daß Fraktion 3 bei Luftfeuchtigkeit mit einer Abnahme der Konzentration sowohl bei 5°C als auch bei 30°C reagiert. Wie aus den anderen Tabellen und Abbildungen zu entnehmen ist, führt eine Erhöhung der Temperatur mit zunehmender Liegezeit zu einer Konzentrationserhöhung in Fraktion 3.

Die postmortalen proteolytischen Veränderungen sind somit in hohem Maße temperaturabhängig. Dies kommt deutlich in den Tabellen 5 und 6 zum Ausdruck. Aus den hier dargestellten Ergebnissen kann entnommen werden, daß sich die elektrophoretisch erfaßten Fraktionen unterschiedlich gegenüber Temperatureinflüssen verhalten. Am stabilsten erscheint Fraktion 7. Trotz einem Temperaturunterschied von 25°C läßt sich sowohl bei geringer als auch bei hoher Luftfeuchtigkeit nur eine Konzentrationsänderung um 9 % feststellen. Fraktion 7 bietet damit eine Möglichkeit, zur Liegezeit in weiten Grenzen Stellung zu nehmen, wenn die Umgebungstemperatur nicht hinreichend genau zu ermitteln

oder großen Schwankungen unterworfen ist. Relativ stark von der Temperatur abhängig ist das Konzentrationsverhalten der Fraktionen 1, 2, 4 und 5. Eine Temperaturerhöhung von 5°C auf 30°C bewirkt jeweils in etwa einen Konzentrationsanstieg auf das Dreifache. Diese Fraktionen bieten damit Indikatoren für geringe Temperaturunterschiede und sind somit nur geeignet Aufschluß über das postmortale Intervall zu geben, wenn die jeweiligen Temperatureinflüsse berücksichtigt werden.

In Tabelle 7 und 8 wurden die Untersuchungsergebnisse nach der Versuchsdauer aufgegliedert. Da sich jedoch hieraus keine eindeutig gerichteten Veränderungen für die Fraktionen erkennen ließen, wurde für jede Fraktion bei 5°C und bei 30°C die Regressionsgerade berechnet und die Verhältnisse in den Abbildungen 1 bis 10 dargestellt. Dabei lassen sich die Fraktionen in zwei große Gruppen einteilen. Zu der ersten Gruppe zählen diejenigen Fraktionen, die sowohl bei niederer als auch bei hoher Temperatur mit zunehmender Versuchsdauer einen Anstieg der Konzentrationen zeigen. Im einzelnen sind dies die Fraktionen P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 und P_7. Das größte Änderungsmoment tritt dabei in Fraktion P_4 auf. Da eine relativ straffe Korrelation für die dargestellte Regressionsgerade berechnet wurde, erscheint Fraktion P_4 am ehesten für eine Eingrenzung des postmortalen Intervalls geeignet.

Fraktion P_3 bietet die besten Voraussetzungen, die Höchstliegedauer abzugrenzen, da hier die Ergebnisse relativ straff korreliert sind und außerdem bei dieser Fraktion die Zunahme der Konzentration bei niederen Temperaturen relativ groß ist.

Zu einer zweiten Gruppe sind die Fraktionen P_6, P_8, P_9 und P_{10} zu rechnen. Alle diese Fraktionen erfahren bei

5°C und bei 30°C eine Konzentrationsabnahme. Sie sind damit für eine Eingrenzung des Todeszeitpunktes nur in der frühen postmortalen Phase geeignet. Dabei läßt sich eine relativ genaue Aussage aus der steilen Konzentrationsabnahme der Fraktion P_8 ableiten. Die Ergebnisse zeigen eine verhältnismäßig straffe Korrelation und können damit etwa in den ersten vier Tagen post mortem zu einer Bestimmung des Todeszeitpunktes in relativ engen Grenzen beitragen.

Die Untersuchungen haben grundsätzlich gezeigt, daß mit erheblichen Schwankungen in den Ergebnissen zu rechnen ist, so daß eine Todeszeitbestimmung über ein entsprechendes methodisches Vorgehen nur bedingt möglich ist. Dabei sind vor allem die jeweiligen Milieufaktoren zu berücksichtigen, wobei der Umgebungstemperatur eine eminente Bedeutung zukommt. Im Einzelfall wird es möglich sein, Konzentrationen von bestimmten Fraktionen als Parameter bei der Bestimmung des postmortalen Intervalls heranzuziehen.

5. Zusammenfassung:

Bei 17 plötzlichen Todesfällen wurden Proben des M.triceps surae entnommen und im Fäulnisexperiment bei unterschiedlichen Bedingungen die wasserlöslichen Proteine auf Celluloseacetatfolien elektrophoretisch aufgetrennt. Über eine quantitative Auswertung wurden Veränderungen registriert, die bei der Eingrenzung des Todeszeitpunktes herangezogen werden können. Es wurde festgestellt, daß die Luftfeuchtigkeit die Konzentration der untersuchten 10 Fraktionen nur gering beeinflußt und damit bei der Bestimmung des postmortalen Intervalls praktisch unberücksichtigt bleiben kann.

Entscheidend für die proteolytischen Veränderungen sind die jeweiligen Temperaturverhältnisse. Als Grenztemperaturen wurden 5°C und 30°C gewählt und dabei das Verhalten der einzelnen Fraktionen untersucht. Dabei zeigte sich, daß die Konzentrationen der Fraktionen großen Schwankungen unterliegen und ein mit der Zeit relativ straff korrelierter Zusammenhang nur für einzelne Fraktionen festzustellen ist. Als Parameter für die Eingrenzung des postmortalen Intervalls erschien am ehesten Fraktion P_4 geeignet. Anhand der Konzentration dieser Fraktion ist eine Abschätzung des Todeszeitpunktes möglich. Als weiterer Anhaltspunkt kann die Fraktion P_3 dienen, die Rückschlüsse auf die Höchstliegedauer zuläßt. Die dargestellte Methode bietet Kriterien, die grundsätzlich geeignet sind, zur Optimierung bei der Todeszeitbestimmung beizutragen, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, daß die Ergebnisse für sich die Liegezeit nur in weiten Grenzen abstecken können und insofern als zusätzliches Element bei der Bestimmung des postmortalen Intervalls herangezogen werden sollten.

6. Literatur

1. BEIER, G., E. LIEBHARDT, M. SCHUCK und W. SPANN: Totenstarremessungen an menschlichen Skelettmuskeln in situ. Z. Rechtsmed. 79, 277 - 283 (1977)

2. BONTE, W.: Der postmortale Eiweiß-Katabolismus. Beitr. gerichtl. Med. 33, 57 - 75 (1975)

3. BONTE, W. und R. ALTEN: Der postmortale Proteinkatabolismus in der Gallenblase. Festschrift Walter Krauland zum 65. Geburtstag, Berlin; Universitätsdruckerei, 1977

4. BONTE, W. und J. BLEIFUSS: Postmortem dating of putrefied material through ptomaine estimation. J. Forens. Sci. 22, 558 - 572 (1977)

5. BONTE, W. und V. KLEINSORGE: Autolysebedingte Konzentrationsveränderungen der freien Aminosäuren im Glaskörper des Auges. Beitr. gerichtl. Med. 35, 133 - 143 (1977)

6. BONTE, W. und J. RUSTEMEYER: Quantitative Untersuchungen zur Entwicklung des Aminosäure-Spektrums in faulender Leber. Z. Rechtsmed. 76, 293 - 306 (1975)

7. BONTE, W, J. BLEIFUSS und J. VOLCK: Experimental investigations in post-mortem protein degradation. Forensic Sci. 7, 9 - 22 (1976)

8. BONTE, W., J. JOHANSSON, G. GARBE und S. BERG: Die Bestimmung des Aminosäurespektrums als Hilfsmittel bei der Datierung von Skelettfunden. Arch. Kriminol. 158, 163 - 174 (1976)

9. BONTE, W., K. POHLIG, R. SPRUNG und J. BLEIFUSS: Die mikrobielle Beeinflussung des Proteinkatabolismus im Fäulnisexperiment. Beitr. gerichtl. Med. 34, 173 - 178 (1976)

10. DERVILLÉE, E. und B. BRUNET-ANTIGNY: Etude élektrophorétique des protéines musculaires en médecine légale. 2e note: Influences du milieu ambiant. Ann. méd. lég. 44, 555 - 559 (1964)

11. DERVILLÉE, E. und R.RIGOT: Etude électrophorétique du muscle squelettique en médecine légale. 1er note. Ann. méd. lég. 43, 73 - 76 (1963)

12. FORSTER, B., D. ROPOHL, O. PROKOP und K. RIEMER: Tierexperimentelle und an menschlichen Leichen gewonnene Daten zur Frage der Dauer der Totenstarre. Kriminalistik und forens. Wiss. 13, 35 - 45 (1974)

13. FORSTER, B., D. ROPOHL,und P. RAULE: Eine neue Formel zur Beurteilung der Totenstarre: Die Feststellung des FRR-Index. Z. Rechtsmed. 80, 51 - 54 (1977)

14. JAY, J. M.
Nature, characteristics, and proteolytic properties of beef spoilage bacteria at low and high temperatures.
Appl. Microbiol. 15, 943 - 944 (1967)

15. KOLÁŘ, O., F. MATHEWS und B. PEDERSEN:
Immunoelectrophoretic and immunochemical studies of human muscle proteins.
Z. Immun.-Forsch. 139, 236 - 244 (1970)

16. KOLÁŘ, O., B. PEDERSEN, F. MATHEWS und S. DUCKETT:
Electrophoretic and immunochemical studies in normal human muscle protein extracts.
Z. Immun.-Forsch. 138, 386 - 393 (1969)

17. KRAUSE, D. und L. ZETT:
Physiologische und morphologische Untersuchungen zum Mechanismus und Verlauf der Totenstarre.
Z. Rechtsmed. 72, 245 - 254 (1973)

18. LERKE, P., L. FARBER und R. ADAMS:
Bacteriology of spoilage of fish muscle.
4. Rôle of protein
Appl. Microbiol. 15, 770 - 776 (1967)

19. MALLACH, H.J.:
Zur Frage der Todeszeitbestimmung.
Berl. Med. 18, 577 - 582 (1964)

20. MALLACH, H.J.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen über die Struktur der Forellenmuskulatur und die Lokalisation der sauren ATPase im Verlaufe der Totenstarre. Zschr. für Zellforschung 66, 794 - 810 (1965)

21. MALLACH, H.J.: Untersuchungen zur postmortalen Aktivität von Hauptkettenenzymen in menschlicher Skelettmuskulatur. Klin.Wschr. 17, 959 - 960 (1965)

22. MITTMEYER, H.-J.: Abhängigkeit der Totenstarre und Totenflecke vom Leichenalter. Beitr. Gerichtl. Med. 28, 101 - 107 (1971)

23. MITTMEYER, H.-J.: Elektrophoretische Gewebeuntersuchungen unter thanatologischen Gesichtspunkten. Beitr. Gerichtl. Med. 36, 231 - 238 (1978)

24. MITTMEYER, H.-J.: Untersuchungen zur Eingrenzung der Todeszeit im späten postmortalen Intervall durch Elektrophorese innerer Organe. Z. Rechtsmed. 84, 47 - 56 (1979)

25. MITTMEYER, H.-J. und R. ERLINGER: Untersuchungen über die postmortale Proteolyse menschlicher myofibrillärer Proteine. Beitr. Gerichtl. Med. 37, 291 - 297 (1979)

26. MITTMEYER, H.-J.: Die Bestimmung des Muskelalbumingehaltes - Eine Möglichkeit zur Todeszeiteingrenzung. Z. Rechtsmed. 84, 233 - 237 (1980)

27. SCHMIDT, O., B. FORSTER und G. SCHULZ: Untersuchungen über die Anteile der Eigen- und Fremdfermente am postmortalen Eiweißzerfall. Dtsch. Zschr. gerichtl. Med. 52, 28 - 45 (1961)

28. SCHWEND, R.J.: Elektrophoretische Untersuchungen auf Celluloseacetatfolien an menschlichen Geweteeiweißkörpern und Serumproteinen unter thanatologischen Gesichtspunkten. Inaug. Diss., Tübingen 1977

29. VÁNDOR, E. und L. JÓZSA: Postmortale Veränderungen in den myofibrillären Eiweißkomponenten und der myofibrillären Adenosintiphosphatasenaktivität der Skelettmuskulatur. Z. Rechtsmed. 80, 265 - 272 (1978)

30. VÁNDOR, E. und T. VARGA: Investigation of the short-time autolysis of rat hearts by means of SDS. Z. Rechtsmed. 83, 225 - 232 (1979)

31. ZINK, P.: Mechanische Eigenschaften lebensfrischer und totenstarrer menschlicher Skelettmuskelfasern und ganzer Muskeln. Z. Rechtsmed. 70, 163 - 177 (1972 a)

32. ZINK, P.: Das mechanische Verhalten menschlicher Skelettmuskulatur während des Verlaufs der Totenstarre. Z. Rechtsmed. 71, 47 - 63 (1972 b)

Herrn Privatdozent Dr. med. H.-J. Mittmeyer danke ich für die Überlassung des Themas und die Begleitung der Arbeit.

Ebenso danke ich Herrn Professor Dr. med. H.J. Mallach für die zuteil gewordene Unterstützung.

Weiterhin gilt mein Dank der übrigen Belegschaft des Institutes, die zum Gelingen der Arbeit beigetragen hat.

Lebenslauf

Am 16. Mai 1953 wurde ich, Uli Oskar Artur Römer, als Sohn des Webmeisters Kurt Römer und seiner Ehefrau Elise Römer, geb. Dürr, in Bronnweiler bei Reutlingen geboren.

Nach der Grundschule in Bronnweiler besuchte ich das Johannes Kepler Gymnasium Reutlingen, wo ich 1973 die Reifeprüfung ablegte.

Im Wintersemester 1973/74 begann ich an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen das Studium der Zahnheilkunde, wo ich im Sommer 1974 die naturwissenschaftliche Vorprüfung für Zahnärzte und im Frühjahr 1976 die zahnärztliche Vorprüfung ablegte.

Am 13. Dezember 1978 bestand ich in Tübingen die zahnärztliche Prüfung.